

**PEMODELAN INFRASTRUKTUR HIDROGEN UNTUK APLIKASI  
FUEL CELL DAN DAMPAKNYA TERHADAP ERA EKONOMI  
HIDROGEN STUDI KASUS DI KOTA SEMARANG**

**Tesis**

Untuk memenuhi salah satu syarat mencapai derajat pendidikan Strata Dua (S-2)

Sebagai Magister Energi pada Program Studi Magister Energi



**Disusun Oleh :**

**BAYU MURTI**

30000516410009

**PROGRAM STUDI MAGISTER ENERGI  
SEKOLAH PASCASARJANA UNIVERSITAS DIPONEGORO  
SEMARANG**

**JUNI 2020**

## PERNYATAAN ORISINALITAS

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam tesis ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar akademik di suatu perguruan tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Semarang, 30 Juni 2020



BAYU MURTI  
30000516410009

## HALAMAN PENGESAHAN TESIS

PEMODELAN INFRASTRUKTUR HIDROGEN UNTUK APLIKASI  
*FUEL CELL* DAN DAMPAKNYA TERHADAP ERA EKONOMI HIDROGEN  
STUDI KASUS DI KOTA SEMARANG

Disusun oleh:  
BAYU MURTI  
30000516410009

Telah diujikan dan dinyatakan lulus oleh Tim Penguji  
Pada tanggal 22 Juni 2020

Tim Penguji,  
Dosen Pembimbing I




(Ir. Sulistyo, MT, PhD)  
NIP. 196209171991021001

Dosen Pembimbing II



(Dr. Jaka Aminata SE, MA.)  
NIP. 197209172002121001

Penguji I



(Dr. Ir. Jaka Windarta, M.T. )  
NIP. 196405261989031002

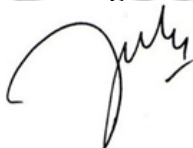
Penguji II



( Dr. Singgih Sapadi, ST., MT.)  
NIP. 197403162001121001

Tesis ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan  
untuk memperoleh gelar Magister Energi  
Tanggal 30 Juni 2020

Kaprodi Magister Energi



(Dr. Ir. Jaka Windarta, M.T.)  
NIP. 196405261989031002

Dekan Sekolah Pascasarjana

(Dr. R.B. Sularto, S.H., M.Hum.)  
NIP. 19670101 199103 1 005

**PERNYATAAN PERSETUJUAN  
PUBLIKASI TESIS UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Diponegoro, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Mahasiswa : BAYU MURTI

NIM : 30000516410009

Program Studi : Magister Energi

Sekolah : Program Pascasarjana

Jenis Karya : Tesis

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Diponegoro Hak Bebas Royalti Noneksklusif atas karya ilmiah saya yang berjudul:

PEMODELAN INFRASTRUKTUR HIDROGEN UNTUK APLIKASI  
*FUEL CELL* DAN DAMPAKNYA TERHADAP ERA EKONOMI HIDROGEN  
STUDI KASUS DI KOTA SEMARANG

Beserta perangkat yang ada. Dengan Hak bebas Royalty Noneksklusif ini Program Studi Magister Energi Sekolah Pascasarjana Universitas Diponegoro berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database) merawat, dan mempublikasikan tesis saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Dibuat di : Semarang

Pada tanggal : 30 Juni 2020

Yang menyatakan



BAYU MURTI

NIM. 30000516410009

## RIWAYAT HIDUP



**Bayu Murti** lahir di Semarang, Jawa Tengah pada tanggal 7 Desember 1983, menyelesaikan pendidikan SD hingga SMA Kota Semarang dan menyelesaikan pendidikan S1 Teknik Elektro di Unika Soegijapranata Semarang pada tahun 2009 dengan bidang Telekomunikasi. Setelah lulus, penulis memulai karir professional di bidang swasta dengan bekerja di beberapa perusahaan swasta. Pada tahun 2016 penulis melanjutkan pendidikan program magister (S2) pada Program Magister Energi Universitas Diponegoro (UNDIP) Semarang.

Semarang, 02 Maret 2020

Penulis

## KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kehadiran Allah SWT yang senantiasa tesis yang berjudul “PEMODELAN INFRASTRUKTUR HIDROGEN UNTUK APLIKASI *FUEL CELL* DAN DAMPAKNYA TERHADAP ERA EKONOMI HIDROGEN STUDI KASUS DI KOTA SEMARANG”. Tesis ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Energi pada Program Studi Magister Energi, Sekolah Pascasarjana Universitas Diponegoro Semarang.

Pada kesempatan ini penulis tidak lupa mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membimbing, memberi bantuan, arahan dan saran dalam penyusunan proposal tesis ini yaitu kepada :

1. Ir. Sulistyono, MT, PhD selaku Dosen Pembimbing Pertama atas waktu, tenaga, petunjuk, dan keramah-tamahannya dalam membimbing penulis mengerjakan proposal tesis.
2. Jaka Aminata SE, MA, PhD selaku Dosen Pembimbing Kedua atas waktu, tenaga, petunjuk, dan keramah-tamahannya dalam membimbing penulis mengerjakan proposal ini.
3. Dr. Ir. Jaka Windarta, MT selaku Ketua Program Studi Magister Energi Universitas Diponegoro Semarang.
4. Bapak dan Ibu Dosen Pengampu kuliah di Magister Energi yang telah memberikan pengajaran yang sangat luar biasa kepada penulis.
5. Teman-teman Magister Energi yang selalu mendukung dan memberi semangat kepada penulis.

Akhir kata apabila terdapat kekurangan dalam penyusunan tesis ini, penulis memohon maaf, dan akan menerima semua bentuk saran dan kritik yang membangun guna penyempurnaan dan pengembangan ini. Semoga Allah SWT meridhai penyusunan tesis ini.

Semarang, 1 Maret 2020

Penulis

Bayu Murti



## DAFTAR ISI

Pernyataan Orisinalitas .....	ii
Halaman Pengesahan Tesis .....	iii
Pernyataan Persetujuan Publikasi Tesis Untuk Kepentingan Akademis .....	iv
Riwayat Hidup .....	v
Kata Pengantar .....	vi
Daftar Isi .....	vii
Daftar Tabel .....	ix
Daftar Gambar .....	x
Daftar Lampiran .....	xi
Intisari .....	xii
Abstract .....	xiii
 Bab I Pendahuluan .....	 1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.1.1. Produksi Hidrogen di Kota Semarang .....	1
1.1.2. Keunggulan Energi Hidrogen .....	2
1.1.3. Sejarah pertumbuhan <i>FCHV</i> di dunia .....	3
1.1.4. Kebutuhan infrastruktur hidrogen .....	5
1.2. Perumusan Masalah .....	6
1.3. Tujuan Penelitian .....	6
1.4. Manfaat Penelitian .....	6
1.5. Orisinalitas Penelitian .....	7
Bab II Tinjauan Pustaka .....	10
2.1. Fuel cell (Sel bahan bakar) .....	10
2.2.1. Tipe Fuel cell .....	10
2.2. Hidrogen .....	10
2.2.1. Atom hidrogen .....	10
2.3. Studi empiris tentang kendaraan gas alam (NGVs) dan infrastruktur pengisian bahan bakar .....	11
2.4. Perancangan Infrastruktur Hidrogen .....	11
2.4.1. Kebijakan pemerintah .....	11
2.5. Metode Produksi Hidrogen dan Biaya Produksi Hidrogen .....	32
Bab III Metode Penelitian .....	37
3.1. Lokasi Penelitian dan Jadwal Penelitian .....	37
3.2. Jenis Penelitian .....	39
3.3. Kerangka Pikir Penelitian .....	39
3.4. Ruang Lingkup Penelitian .....	39
3.5. Jenis dan Sumber Data .....	40
3.6. Teknik Pengumpulan Data .....	40
3.7. Teknik Analisa Data .....	41
3.8. Batasan Masalah .....	41
Bab IV Hasil dan Pembahasan .....	43
4.1. Kondisi Jumlah Kendaraan dan Kebutuhan energi di kota Semarang .....	43

4.1.1. Pemakaian BBM solar, premium, pertamax Semarang.....	43
4.1.2. Kebutuhan Hidrogen di Kota Semarang.....	49
4.1.3. Infrastruktur yang mungkin dibangun di Kota Semarang .....	49
4.2. Prediksi Jika Kendaraan diarahkan ke Bahan bakar hidrogen .....	49
4.2.1. Perbandingan biaya BBM dengan Hidrogen di Kota Semarang.....	52
4.2.2. Analisa Ekonomi Prarancangan Pabrik Hidrogen di Kota Semarang .....	52
4.2.2.1. Investasi Modal Total .....	52
4.2.2.2. Biaya Tahunan dan Biaya Produksi ( <i>Product</i> ) .....	52
4.2.2.3. Penaksiran harga peralatan .....	55
4.3. Skenario Peluang Produksi Hidrogen dan Status Produksi serta penggunaan hidrogen saat ini di Kota Semarang.....	56
4.3.1. Hidrogen di PT. SAMATOR.....	56
4.3.2. Skenario Tugas dan wewenang Organisasi SPBU serta Tenaga kerja yang terlibat jika SPBU diarahkan ke SPBU Hidrogen di Kota Semarang .....	57
4.3.3. Skenario izin pendirian SPBU Hidrogen di kota Semarang.....	59
4.3.4. Beberapa skenario dalam membangun infrastruktur Hidrogen di Kota Semarang .....	62
4.3.5. Peran dan tanggung jawab utama perusahaan anggota pendiri Hidrogen di kota Semarang .....	63
4.3.6. Desain infrastruktur hidrogen di kota Semarang dan Jalur menuju ekonomi hidrogen di kota Semarang .....	67
4.3.7. Pengiriman H <sub>2</sub> di kota Semarang.....	68
Bab V Kesimpulan .....	75
5.1. Kesimpulan .....	75
5.2. Saran.....	76
Daftar Pustaka .....	78
Lampiran A. Hasil riset KPMG .....	83
Lampiran B. Pembangkit listrik fuel cell karbonat .....	84
Lampiran C. Hubungan antara kebutuhan Energi di kota Semarang sepanjang tahun dengan satuan GJ .....	85



## DAFTAR TABEL

Tabel 1.1	Ringkasan Penelitian terdahulu.....	7
Tabel 2.1	Kebutuhan Bahan Bakar Minyak yang Disalurkan Menurut Kabupaten/Kota dan Jenis Bahan Bakar di Jawa Tengah Tahun 2013 .....	15
Tabel 2.2	Kebutuhan Bahan Bakar Minyak yang Disalurkan Menurut Kabupaten/Kota dan Jenis Bahan Bakar di Jawa Tengah Tahun 2013 (kilo liter) dalam grafik. ....	16
Tabel 2.3	Banyaknya Penyalur Bahan Bakar Minyak Menurut Kabupaten/Kota di Jawa Tengah Tahun 2014. <i>Number of Fuel Distributor by Regency/City in Jawa Tengah 2014</i> .....	17
Tabel 2.4	Banyaknya Penyalur Bahan Bakar Minyak Menurut Kabupaten/Kota di Jawa Tengah Tahun 2014 dalam grafik. <i>Number of Fuel Distributor by Regency/City in Jawa Tengah 2014</i> .....	18
Tabel 2.5	Data Obyek Kendaraan Bermotor Menurut Jenisnya Semarang I .....	20
Tabel 2.6	Data Obyek Kendaraan Bermotor Menurut Jenisnya Semarang II .....	20
Tabel 2.7	Data Obyek Kendaraan Bermotor Menurut Jenisnya Semarang III.....	21
Tabel 2.8	Total Objek Kendaraan Bermotor per 31 Desember 2014 .....	21
Tabel 2.9	Perbandingan Bahan Bakar Fosil Berdasarkan Proses Produksi Hidrogen .....	35
Tabel 2.10	Biaya Teknologi Produksi Hidrogen .....	36
Tabel 3.1	Jadwal Penelitian.....	45
Tabel 4.1	Konsumsi BBM di Semarang pada tahun 2014.....	45
Tabel 4.2	Hubungan antara kebutuhan Energi di kota Semarang sepanjang tahun dengan satuan GJ.....	46
Tabel 4.3	Estimasi pertumbuhan SPBU di kota Semarang.....	48
Tabel 4.4	Konversi kebutuhan Energi di kota Semarang sepanjang tahun.....	50
Tabel 4.5	Prediksi jumlah pemakaian hidrogen di kota Semarang .....	64
Tabel 4.6	Asumsi Ekonomi Biaya Tahunan dan Biaya Produksi (Product) ....	53
Tabel 4.7	Indeks harga alat .....	55
Tabel 4.8	Prediksi jumlah SPBU hidrogen di kota Semarang .....	64

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Siklus Energi Hidrogen .....	2
Gambar 1.2 Sejarah Pertumbuhan <i>FCHV</i> .....	5
Gambar 2.1 Daftar Stasiun pengisian Hidrogen di Korea Selatan .....	12
Gambar 2.2 Skenario Infrastruktur Ekonomi Hidrogen .....	13
Gambar 2.3 Konsumsi bahan bakar minyak di kota Semarang pada tahun 2014 .....	19
Gambar 2.4 Grafik Jumlah Total Objek Kendaraan Bermotor per 31 Desember 2014 .....	22
Gambar 3.1 Peta Lokasi Penelitian .....	37
Gambar 3.2 Kerangka Pikir Penelitian .....	39
Gambar 4.1 Konsumsi bahan bakar minyak di kota Semarang pada tahun 2014 .....	45
Gambar 4.2 Hubungan antara kebutuhan Energi di kota Semarang sepanjang tahun .....	47
Gambar 4.3 Estimasi pertumbuhan SPBU di kota Semarang .....	48
Gambar 4.4 Grafik hubungan antara harga index dengan tahun ke (Chemical engineering cost index) .....	55
Gambar 4.5 Data tabung yang digunakan di PT. SAMATOR Jenis ISO9809-3 .....	57
Gambar 4.6 Lay out bangunan SPBU hidrogen dan konfigurasi SPBU hidrogen yang akan dibangun .....	60
Gambar 4.7 Peta topografi/rupa bumi yang memperlihatkan titik lokasi rencana pendirian SPBU hidrogen .....	61
Gambar 4.8 Tangki yang ditimbun di SPBU .....	61
Gambar 4.9 Skenario infrastruktur hidrogen .....	65
Gambar 4.10 Skenario keberlanjutan bisnis .....	66
Gambar 4.11 Jalur menuju ekonomi hidrogen: dari bahan baku hingga penggunaan akhir .....	68
Gambar 4.12 Skenario jalur pengiriman H <sub>2</sub> .....	70
Gambar 4.13 Skenario Lokasi produksi dan pengisian bahan bakar .....	71
Gambar 4.14 Persebaran SPBU besar di kota semarang .....	72
Gambar 4.15 Daftar SPBU di jalur Semarang-Purwodadi .....	72
Gambar 4.16 Daftar SPBU di jalur Semarang-Kendal .....	73
Gambar 4.17 Daftar SPBU di jalur Semarang – Solo .....	73
Gambar 4.18 Daftar SPBU di jalur Semarang - Kudus .....	74

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A. Hasil riset KPMG .....	83
Lampiran B. Pembangkit listrik fuel cell karbonat .....	84
Lampiran C. Hubungan antara kebutuhan Energi di kota Semarang sepanjang tahun dengan satuan GJ .....	84
Lampiran D. Pertumbuhan BBM di Jawa Tengah .....	85



## INTISARI

Ekonomi hidrogen adalah pergeseran dalam penggunaan energi fosil ke hidrogen. Saat ini transportasi berupaya menemukan bahan bakar dari energi baru dan terbarukan. Penelitian ini berusaha untuk mengetahui profil konsumsi energi di kota Semarang mulai dari transportasi sampai dengan tahun tertentu. Dengan mengetahui profil konsumsi energi di kota Semarang ini, maka output dari penelitian ini adalah kajian perencanaan untuk membangun infrastruktur hidrogen serta membuat langkah-langkah yang mungkin dilakukan. Pada akhir Tesis ini akan diketahui seberapa besar potensi pembangunan infrastruktur hidrogen sehingga nantinya bisa menjadi pedoman dalam menentukan kebijakan yang tepat dalam melakukan pembangunan infrastruktur hidrogen di kota Semarang.

Kapasitas design produksi hidrogen di PT. SAMATOR adalah 1.000 m<sup>3</sup>/jam.

- ➔ Breakdown produksi per hari :  $550 \text{ m}^3/\text{jam} \times 24\text{jam} = 13.200\text{m}^3$ .
- ➔ Jika dimaksimalkan produksi selama 360 hari per tahun maka total produksi hidrogen di Semarang adalah 4.752.000m<sup>3</sup>.
- ➔ Pada tahun 2020, kebutuhan hidrogen dikota Semarang = 1.955.780 m<sup>3</sup>. Dengan data penelitian ini bisa di analisa bahwa produksi hidrogen di kota Semarang bisa memenuhi kebutuhan hidrogen untuk transportasi di kota Semarang

**Kata kunci:** hidrogen, BBM, produksi, transportasi, Semarang

## ABSTRACT

The current global trend is a shift in the use of fossil energy to hydrogen, known as the "hydrogen economy". At present transportation (automotive) is looking for alternative fuels as a substitute for fuel oil. In addition to using electricity as a driving force, hydrogen fuel is used as one of the fuels which can also be considered an option. This study seeks to determine the profile of energy consumption in Semarang district starting from the transportation to a certain year. The output of this research is about hydrogen infrastructure and making possible steps for a decision by knowing the profile of energy consumption in Semarang. Finally it will be known the potential of hydrogen infrastructure development which can become a guideline in determining the right policy in carrying out hydrogen infrastructure development in Semarang. The capacity of hydrogen production in Semarang is approximately 1,000 m<sup>3</sup> / hour. The production breakdown per day is :  $550\text{m}^3 / \text{hour} \times 24 = 13,200\text{m}^3$ . It can be maximized the production of hydrogen for 360 days per year is 4,752,000m<sup>3</sup>. The prediction of the hydrogen needs of 2020 in Semarang is 1,955,780 m<sup>3</sup>. Thus the production of hydrogen in Semarang can be fulfilled.

Key words : hydrogen fuel, oil fuel, production, transportation